

柔軟型 生産시스템(FMS)의 導入·運用을 위한 理論的 考察

姜 鍾 烈
經營學科

<要 約>

오늘날 企業이 처한 競爭的 狀況은 生産시스템의 生産性(productivity)과 柔軟性(flexibility) 및 製品의 信賴性(reliability)을 동시에 요구하게 되었으며, 이러한 時代的 要求에 副應하여 컴퓨터와 메카트로닉스(mechatronics) 技術의 발달로 개발된 生産시스템이 柔軟型生産시스템(Flexible Manufacturing System: FMS)이다.

향후 우리나라 企業의 競爭力 提高를 위해서는 이러한 尖端技術을 이용한 生産시스템의 導入·運用이 불가피할 것으로 생각된다.

本 論文에서는 企業이 FMS를 導入, 運用하고자 할 때 바탕이 되는 FMS에 대한 기본적인 이해를 돕기 위하여 FMS의 主要 意思決定問題, FMS의 導入妥當性 分析方法, FMS의 柔軟性 成果測定 模型 등 FMS에 대한 몇 가지 論議들을 考察하였다.

Several Issues on the Flexible Manufacturing System

Kang, Jong-Yeol
Dept. of Management

<Abstract>

The flexibility as well as the productivity of production system is required for the firm to survive in today's highly competitive market.

The Flexible Manufacturing System(FMS) has been newly developed with the aid of computer and mechatronics technology to meet this need of times.

I think that it is essential for Korean firms who wish to increase competitive power to be equipped with the FMS.

I introduce here several issues on FMS such as the major decision-making problems for

FMS to the firms, the analysis method of the economic justification for the introduction of FMS, and the models which measures the flexibility of FMS.

1. 序 論

오늘날 企業이 처한 경쟁적 상황은 生産시스템의 生産性(productivity)뿐만 아니라 生産시스템의 柔軟性(flexibility)을 동시에 요구하게 되었다.

즉 오늘날의 企業은 우선 마케팅의 측면에서 消費者欲求의 변화 및 새로운 시장의 출현에 따르는 新製品의 開發, 市場細分化에 의한 製品規格의 增加, 製品多樣化와 需要變化의 深化, 製品壽命週期の 短縮現象 등에 직면해 있으며 生産의 측면에서는 製品라인 및 規格의 多樣化, 技術變化에 따라 部品の 構成과 生産裝備의 正確度, 速度등이 生産段階別로 달라지는 現象등이 遍在化하고있다. 따라서 종래 大量生産시스템이 가지는 生産性 뿐만 아니라 作業場(job shop) 生産시스템이 가지는 多樣性, 柔軟性を 동시에 실현시킬 수 있는 生産시스템을 요구하게 된 것이다.

이러한 시대적 요구에 부응하여 컴퓨터와 메카트로닉스(mechatronics)技術의 발달과 함께 나타나게된 것이 柔軟型生産시스템(flexible manufacturing system, 以下 FMS로 씀)이다. 즉 FMS는 첨단 生産기술을 통하여 柔軟性和 生産性を 결합, 收益性を 높이고자 하는 일종의 技術推進戰畧의 요체를 형성하는 것으로 볼 수 있다.

이같은 FMS의 독특한 성격으로 말미암아 이를 導入·運用하는 데에는 傳統的인 生産시스템과는 다른 새로운 管理的, 技術的 問題들을 야기시키게 된다. 현재 FMS의 開發과 設置 및 이에 관한 諸 研究들은 주로 日本, 美國 등 선진국을 중심으로 이루어지고 있으며 국내기업의 경우 그 導入, 活用 상태가 극미한 실정이나 선진국의 추세에 비추어 국내기업에서도 FMS를 적극 도입, 活用할 것이 전망된다.

따라서 本稿는 앞으로 국내기업이 FMS를 導入, 運用하고자 할 때 필요한 全般적인 示唆를 얻고자 FMS의 導入, 運用과 관련된 理論 및 諸般 技術, 管理上의 問題點 들을 그간에 발표된 文獻을 중심으로 理論的인 側面에서 考察하고자 한다.

2. FMS의 概要

(1) FMS의 成立背景

大量生産方式의 利點인 生産性和 job shop 生産方式의 利點인 多樣性, 柔軟性を 結合시킬려는 企業의 노력은 모듈러生産方式(modular production), 그룹테크놀로지(group technology: GT) 등으로 시도된 바 있으며,¹⁾ 第2次大戰 이후 컴퓨터 및 메카트로닉스 技術의 발달에 따라 FMS로 결실을 보게 된다. FMS를 理解하기 위해서는 生産시스템의 自動化

1) 拙稿, 製造企業의 製品多樣化(variety) 및 生産融通性(flexibility)을 위한 生産戰畧, 울산대학교 연구논문집 제18권 제1호 1987, pp. 89~104.

(automation)에 대한 발전과정을 살펴 볼 필요가 있다.

生産시스템의 自動化는 第2次大戰 이후 數値制御工作機械(numerical control machine)로부터 시작되었다. NC 시스템은 가공하는 것의 형상이나 작업의 프로세스를 미리 계산, 數値化해서 그 숫자나 기호를 카드 또는 테이프에 천공하여 이 테이프를 수치제어장치에 걸면 그 지령에 의해 공작기계가 작업하는 시스템으로 재래식 설비에 비해 正確渡와 柔軟性を 증가시켰다.

그 후 컴퓨터의 소형화, 저렴화 추세와 더불어 미니컴퓨터가 내장된 컴퓨터수치제어 공작기계(computer numerical control: CNC)가 등장하였다. 이것은 컴퓨터에 기억된 프로그램에 따라 작업하는 시스템으로서 공작기계의 信賴性(reliability)과 柔軟性を 더욱 향상시켰을 뿐만 아니라 기계의 制御日程計劃과 成果資料의 報告까지도 용이하게 하였다.²⁾

CNC 시스템과 더불어 産業用로봇(industrial robot)도 개발되었는데 처음에는 단순히 人間의 上體運動 만이 가능하였으나 오늘날에 와서는 感覺機能 및 認知, 判斷機能까지 가능한 로봇이 개발되어 생산공장에서 작업자를 대신하여 일할 수 있게까지 되었고, 프로그램을 재입력시키면 그 목적에 맞는 일을 수행할 수 있도록 되어 있다.³⁾

한편 1970년대 초에 直接數値制御(direct numerical control: DNC)공작기계가 개발되었는데 이는 직접수치제어가 가능한 공작기계로서 중앙의 중앙제어 컴퓨터(host computer)에서 직접 제어정보를 보내어 작업하는 공작기계이다. 또한 복합공작기계라고도 불리는 머시닝센터(machining center: MC)는 자동공구교환장치(automatic tool changer: ATC)를 갖추고 수실에서 수백개의 공구를 자동으로 교환해 가며 작업순서에 따라 전자동으로 운전된다. 이러한 DNC의 기능을 自動資材搬送裝置와 연결함으로써 부품을 무순서(random)로 언제든 지 생산가능하게 한 시스템이 FMS 이다.⁴⁾

오늘날에는 이러한 生産加工의 自動化에서 한걸음 더 나아가 컴퓨터를 이용하여 설제도를 구성하는 데이터를 입력시켜 프로그램에 의하여 도면을 화면에 나타나도록 하는 컴퓨터그래픽스(computer graphics)에 의한 설계를 의미하는 CAD(computer aided design), 대형 컴퓨터에 생산에 관련된 제반 정보들을 입력시켜 데이터베이스(data base)화 시켜놓고 이러한 생산정보를 필요할 때마다 DNC에 보내어 생산하는 CAM(computer aided manufacturing)시스템, 생산관리를 비롯한 기업의 제반관리활동의 자동화를 포괄하는 CIM(computer integrated manufacturing)에로 발전하였다.⁵⁾ 광의의 FMS라고 하면 앞에서 설명한 가공의 자동화시스템외에 CAD/CAM, 생산관리의 자동화까지 포괄하는 이러한 CIM을 의미하기도 한다.

(2) FMS의 概念

柔軟型生産시스템은 원래 기계부품등의 한정(batch)생산에서 대량생산의 생산성 내지 효

2) Donald Gerwin, "Do's and Dont's of Computerized Manufacturing," *Harvard Business Review*, March-April, 1982, pp. 108.

3) 梁宗澤, 生産/運營管理論, 法文社, 1987, pp. 73~77.

4) Donald Gerwin, op. cit., p. 110.

5) 梁宗澤, op. cit., pp. 77~79.

을성을 얻기 위한 것이었다.⁶⁾ 그러나 최근에 와서 FMS는 산업용 로봇과 自動搬送시스템(automatic transfer system) 등의 발달로 組立라인의 적용에도 가능하게 되었다.

그러나 FMS는 그 개념이 아직 확립되지 못하여 연구자마다 필요에 따라 다양한 의미로 사용하고 있으나 대체로 NC공작기계, 자동반송시스템 및 중앙제어컴퓨터(host computer)로 구성되는 自動生産시스템(automatic production system)으로 이해되고 있다.⁷⁾ 최근에는 작업물 또는 부품을 쉽게 저장하고 인출할 수 있는 자동창고, 그리고 조립라인을 위한 산업용 로봇 등이 FMS의 구성요소에 포함되기도 한다. 여기서 말하는 NC공작기계는 일반적으로 밀링(milling), 드릴링(drilling), 보링(boring) 등의 여러가지 절삭작업을 수행할 수 있는 머시닝센터(machining center)를 말하는 것으로 FMS의 주축을 이룬다.

自動搬送시스템은 작업물이나 부품을 완전자동으로 NC기계 또는 창고까지 운반하는 장치로 여기에는 컨베이어(conveyor), RGV(rail guided vehicle)시스템 등이 있다.⁸⁾

中央制御컴퓨터(host computer)는 NC기계 및 자동반송시스템을 통제하고 시스템 내에서의 작업물 이동과 시스템 성능에 대한 정보를 처리하는 기능을 갖고 있다. 이러한 제어시스템은 세가지의 단계로 구분될 수 있는데, 그 첫단계는 가장 기본이 되는 NC기계의 제어이다. 두번째 단계는 부품의 흐름과 전체생산공정의 제어이다. 마지막 단계는 경영정보, 리얼타임루팅(real-time routing), 의사결정 및 인력관리를 제어하는 단계로 이 단계에서 FMS의 완전자동화가 이루어진다.⁹⁾

자동창고시스템(automatic storage/retrieval system)은 컴퓨터의 지시에 의해 완전자동으로 창고로부터 일정량의 부품을 꺼내 지시된 장소로 운반하고 그 장소에 저장하기도 한다.¹⁰⁾

산업용로봇은 프로그램으로 입력된 작업을 자동적으로 수행하는 장치로, 오직 한 점에서만 작업이 가능한 NC기계에 비해 일정한 공간 내에서 자유도가 높은 작업을 수행할 수 있는 장점을 가진다.¹¹⁾

FMS의 가장 큰 잇점은 급격한 환경의 변화에 대응하여 다양한 제품을 적은 양으로 저렴하게 생산할 수 있다는 것이다. 대량생산체계의 기계화와 같은 하드 오토메이션(hard automation)하에서는 대량의 규모(massive scales)에 의해서만 경제적 생산이 가능하다. 그러나 플렉시블 오토메이션(flexible automation)하에서는 넓은 범위의 규모(wide range of scales)를 유지하면서 그와 동등한 경제성을 얻을 수 있다. 즉 FMS는 적은 양의 한정량(batch) 또는 단 하나의 제품조차도 대량생산시스템과 마찬가지로의 효율성으로 생산이 가능한 것이다.¹²⁾

이러한 현상을 Goldhar는 범위의 경제(economy of scope)라 불렀으며 이는 規模의 經濟(economy of scale)와 상반되는 개념으로서 量(volume)이 아닌 多樣性(variety)으로 부터

6) John Hender, "FMS-The Way Ahead for Batch Production," *Industrial Management and Data Systems* May/June, 1984, p. 21.

7) H.T. Klahorst, "FMS's: Combining Elements to Lower Costs, Add Flexibility", *Industrial Engineering* 13(11), 1981, p. 112.

8) G.Lofgren, "Automatic Guided Vehicles Perform as Production Line System", *Industrial Engineering* 13(11) 1981, pp. 36~43.

9) H.T. Klahorst, op. cit., pp. 113~114.

10) Thomas G. Gunn, *Computer Application in Manufacturing*, Industrial Press Inc., 1981, pp. 170~171.

11) Yoram Koren, *Computer Control of Manufacturing Systems*, Mc Graw-Hill, 1983, p. 2.

12) Gene Bylinsky, "The Race to the Automatic Factory", *Fortune*, Feb. 21, 1983, pp. 53~54.

산출되는 효율성을 말한다.¹³⁾ 범위의 경제는 동일한 설비로 여러종류의 제품조합을 생산할 때 각각 생산할 때 보다도 더 저렴하게 생산할 수 있게 해 주는데 이것이 바로 FMS가 추구하고자 하는 목적이다.

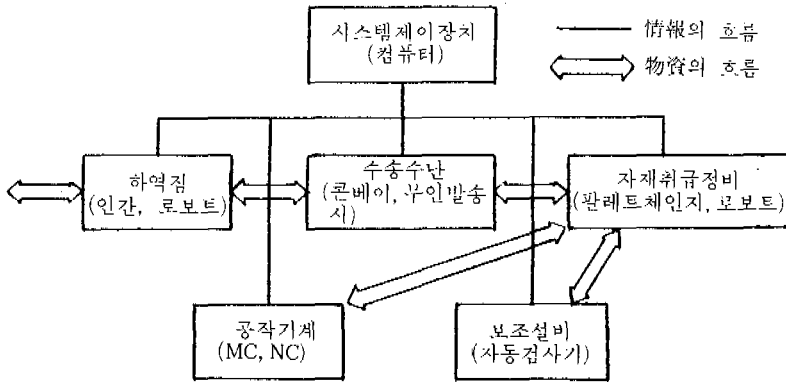


그림 2-1 FMS의 構造

資料 : S. Hwang, W. Barfield, T. Chang, and G. Salvendy, "Integration of Humans and Computers in the Operation and Control of FMS", *Int. Jr. Prod. Res.*, vol.22, No.5, 1984, p. 843

(3) FMS의 主要 問題點

앞에서는 FMS의 生成背景과 그 概念에 대해 考察하였는 바 FMS는 生産에서 柔軟性和 經濟性을 확보하기 위한 기계와 컴퓨터의 結合이며 주요 目的로서 課業간의 신속한 전환과 과업의 신속한 완료가 있다. 이러한 FMS의 重要 論点은 技術的 側面, 財務的 側面, 政治的 側面, 社會的 側面과 管理的 側面으로 나누어 볼 수 있다.

本節에서는 앞의 네 가지 項目에 대해서 주로 Greenwood의 意見을 중심으로 살펴보기로 하며, FMS의 管理的 側面의 問題點에 대해서는 節을 달리하여 논의하기로 한다.

1) FMS의 技術的 側面¹⁴⁾

FMS는 컴퓨터, CNC 工作機械, 산업용로봇트, 자동반송장치 등의 결합시스템이므로 精교하고 신뢰성 있는 제조시스템의 확보를 위해서는 보다 진보된 生産설비를 도입하고 結合해야 한다. 이러한 경우 다양한 生産설비(예로서 CNC, DNC, CAD, CAM, robots, 컴퓨터, AGV, 검사장비 등)의 선택과 이들의 구성이 FMS의 효율에 영향을 끼친다.

2) FMS의 財務的 側面

FMS는 높은 品質水準의 製品을 경쟁적인 가격으로 生産하여야 한다. 그러나 FMS의 財務的인 側面에서의 妥當性을 입증하는 것은 대단히 어려운 일로서 그것은 현재의 資本豫算에 대한 投資分析技法들(예, DCF, NPV法등)이 傳統的 生産시스템과는 완전히 상이한 FMS의

13) Joel D. Goldhar & Mariann Jelinck, "Plan for Economics of Scope", *Harvard Business Review*, Nov.-Dec, 1983, p. 142.

14) Nigel R. Greenwood, "F.M.S., The Origins, The philosophy, The Implication", in K.E. Stecke and R. Suri(editors), *Proceedings of the First ORSA/TIMS Special Interest Conference on FMS*, Ann Arbor, MI August 1984, pp. 403~407.

잇점들을 충분히 감안하고 있지 않기 때문이다. 예컨대 간접비배분의 경우 현재의 투자분석 기법으로서는 FMS를 적절히 평가하기가 대단히 어렵다.

3) FMS의 政治的 側面

FMS에서의 政治的 問題는 모든 變化의 경우와 마찬가지로 經營層의 信賴性 및 管理的, 技術的 지지를 받을 수 있어야 한다.

4) FMS의 社會的 側面

FMS의 社會的 側面的 問題點은 雇傭과 관련된 것이다. 單位設置당 雇傭數는 줄어들겠지만 日本에서 보는 바와 같이 長期的으로 볼 때 全體雇傭數는 그렇게 줄어들지 않을 것이다. 이것은 適當 作業日數를 감소시킴으로써 가능하리라 본다.

(4) FMS의 管理的 問題¹⁵⁾

Kathryn E. Stecke는 FMS의 重要 管理的 問題로서 FMS의 設計(design)問題, FMS의 計劃(planing)問題, FMS의 스케줄링(scheduling)問題, FMS의 統制(control)問題를 지적하고 있다. FMS의 管理的 問題는 傳統的인 生産시스템과는 상이한 문제를 야기시키고 있으므로 여기서는 FMS의 수명주기(life cycle)를 중심으로 이러한 문제점들을 제시하고자 한다.

1) FMS의 設計問題

FMS의 設計問題는 초기의 規格決定(initial specification decision)단계와 후속의 實行決定(subsequent implementation decision)단계로 區分되어진다.

a. 初期의 規格決定(initial specification decision)

- ① 生産될 部品이나 部品の 類型別로 부품가족 또는 범위결정
- ② 이러한 부품들이 어떠한 방식으로 加工될 것인가를 결정(이것은 결국 공작기계나 로봇의 유형과 그 수량을 결정하게 된다.)
- ③ 필요로 하는 柔軟性的 形態와 바람직한 柔軟性的 정도를 결정(유연성이 많은 시스템일 수록 비용이 더 많이 소요되고 관리하기에 어렵게 된다. 예컨대 가변(flexible) routing은 고정(fixed) routing 보다 관리하기가 더욱 어려우며 부품흐름의 real-time 統制(control)는 작업흐름(work flow)의 고정스케줄(schedule)보다 실행하기가 더욱 어렵다.)
- ④ 개발하고자 하는 FMS의 類型 決定(柔軟性的 다양한 형태에 따라 여러 FMS 유형이 존재하며 이것은 시스템의 自動化程度와 統制의 형태를 규정한다.)
- ⑤ 資料處理시스템(material handling system)의 형태와 그 시설용량을 결정
- ⑥ buffer의 형태와 규모를 결정(buffer는 在工品在庫에 대하여 대기장소를 제공하고 이것은 중앙에 있을 수도 있고 분산적으로 각 기계에 붙어서 작은 buffer가 있을 수도 있다.)
- ⑦ 生産의 각 側面을 統制하는 컴퓨터들 사이의 階層을 확립한다. (이 통제구조는 어떤 통제 수준에서 어느 컴퓨터와 관련이 있는지를 나타내어 data 전달장치를 결정할 수 있다. 컴퓨터가 통제하는 부분은 FMS의 통제부분에 따라 아주 다양하다.)

15) Kathryn E. Stecke, "Designing, Planning, Scheduling, and Control Problems of FMS", in K.E. Stecke and R. Suri(editors), Proceedings of the First PRSA/TIMS Special Interest Conference on FMS, Aug., 1984, pp. 1~7.

⑧ FMS의 판매자를 선택

b. 後續的 實行決定(subsequent implementation decision)

⑨ FMS 설비배치(layout)결정

⑩ 팔레트(pallet)의 수를 결정

⑪ 각 治具(fixture)類型에 대해 그 設計와 數量을 決定

⑫ FMS의 運營을 위한 一般戰畧 수립. (FMS의 물리적 설계가 실제로 의도된 바와 같이 수행되는지를 체크하기 위해 일반적인 計劃과 統制 目標가 필요하다. 計劃(planning), 로딩(loading), 일정계획(scheduling) 알고리즘을 개발한다.)

⑬ 소프트웨어 개발작업을 계획하고 실행하여야 한다. (여기에는 統制構造, 工具管理, 在庫, 統制, 스케줄링에 대한 소프트웨어가 포함된다.)

2) FMS의 計劃問題

FMS의 계획문제는 FMS가 部品를 生産하기 이전에 내려야 할 意思決定들이다.

① 입수된 여러 주문에서 동시에 제조가능한 部品種類的 集合을 選擇

② 각 類型的 機械를 機械그룹으로 分解

③ 部品種類的 믹스(mix)를 決定

④ 팔레트와 治具를 각 部品類型에 할당

⑤ 그룹핑한 기계에 부품종류와 관련된 작업과 공구를 할당

FMS의 계획문제가 해결되어 공구가 전부 적절한 공구매거진(tool magazine)에 로드(load) 되었을 때 생산은 시작되며 이러한 계획문제들은 순차적으로, 반복적으로 또는 몇 가지가 동시에 해결될 수도 있다.

3) FMS의 스케줄링문제

FMS의 스케줄링문제는 부품의 최적가공순서와 주어진 부품믹스에서 공작기계의 최적순서를 결정한다.

① 선택된 부품이 어떤 순서로 시스템에 투입될지를 결정

② 적절한 스케줄링방법과 알고리즘의 개발

③ 동일한 기계에 여러 부품이 대기하고 있는 경우 우선순위규칙의 결정

4) FMS의 統制問題

FMS의 統制問題는 여러가지 制約과 納期日이 계획된 대로 지켜지고 있는지 시스템을 모니터링하는 것과 관계된다.

① 공작기계의 고장에 대비한 정책수립

② 정기적 예방정비계획 수립

③ 재공품, 완성품에 대한 검사정책 수립

④ 공구수명을 측정하기 위하여 공구수명에 대한 정보수집

이상의 문제점들을 해결하기 위하여 시물레이션, 그룹테크놀로지(group technology), 컴퓨터를 이용한 공정계획(computer aided process planning), 대기행렬 네트워크(queueing network), 수리계획법(선형, 비선형, 정수계획법), 인공지능 등의 모형이 사용된다.

3. FMS의 導入妥當性 分析

(1) 技術變化와 生産性

技術(technology)은 비록 그 정도에 있어서는 서로 다른 견해가 존재한다 할 지라도 生産性 向上의 주요한 기여요인 중의 하나이며 또한 既存의 生産設備가 폐쇄되는 주요한 이유 중의 하나가 낙후된 생산기술에 기인한다는 점을 생각해 볼 때 企業經營의 主要 要因임을 부정할 수 없다. 그러나 傳統的 意味의 기술이 지니는 管理的, 戰畧的 意味와 CAD/CAM, 재프로그램이 가능한 산업용로봇(reprogrammable robots), 自動資材取扱裝置, 그룹테크놀로지, 現代의 生産計劃 및 統制技法, 進一步한 컴퓨터 기술 등을 바탕으로 하는 FMS 關聯 技術의 管理的, 戰畧的 意味는 전혀 그 성질을 달리하는 것으로 이러한 점이 FMS의 經濟性 評價의 前提가 된다. 따라서 여기서는 FMS에 의한 technology-push 戰畧이 지니는 管理的, 戰畧的 意味를 검토함으로써 FMS의 導入과 運用에 관한 經濟性 評價에서 技術이 지니는 함축적 의미를 살펴보기로 한다.

1) 傳統的 生産시스템에서의 技術의 意味

Ferdows¹⁶⁾에 의하면 一般의 生産시스템은 다양한 제품을 생산하는 job shop 시스템으로부터 標準化된 大量生産시스템의 方向으로 나아가게 되며 이 경우 企業은 어떤 環境條件하에서는 惡循環(vicious circle)의 경로에 빠지게 된다. 즉 Hayes와 Wheelwright의 제품-공정 매트릭스(product-process matrix)상에서 生産시스템의 전통적인 진행방향은 A→D가 되고(그림 3-1 참조) 이때 A그룹은 非能率的이나 柔軟한 시스템(inefficient, but flexible system)이고 D그룹은 능률적이기는 하나 유연성이 적은 시스템(efficient, but not flexible system)이 된다. 一般의 方向으로 A에서 D의 方向으로 나아가게 되는 方法은 自動化

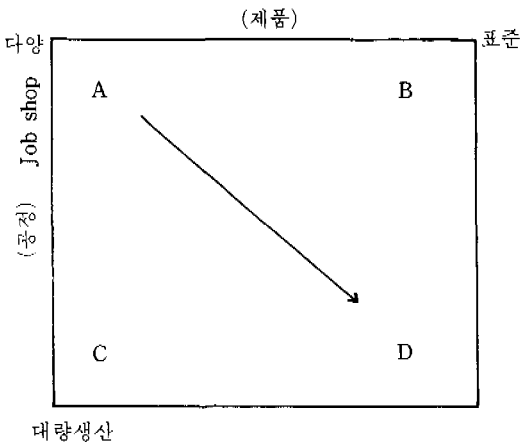


그림 3-1 제품-공정 matrix

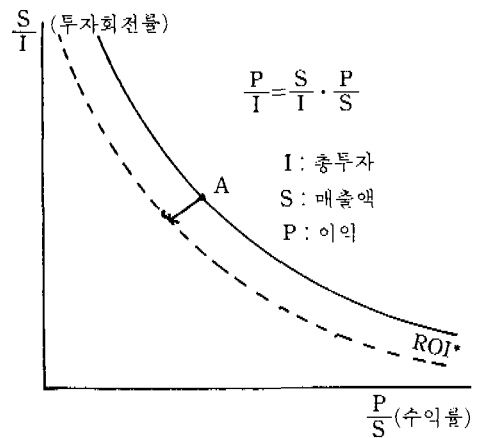


그림 3-2 ROI 무차별 곡선

16) K.Ferdows, "Technology-Push Strategies for Manufacturing", Tijdschrift voor Economie en Management, XXVIII(2), 125~137, W.S. Herroelen & Marc R. Lambrecht, Management Aspect of Computerized Manufacturing, K.E. Stecke & R.Suri(ed.), 1st proceeding on FMS, Aug. 1984, pp. 68~73에서 재인용.

(automation)를 이용하게 되는 바 勞務費의 增加 및 정부규제를 포함하는 각종 환경의 압력에 대응하기 위하여 企業은 勞動生産性을 향상시키기 위한 自動化를 시도하며 표준화된 대량 생산제품의 방향을 추구하게 된다. 이같은 여건 하에서는 주된 경쟁수단은 價格이 되고 이에 따라 매출액순이익률은 점차 낮아지게 된다. 또한 생산시스템의 가동중지에서 발생하는 비용은 자꾸 증가하게 되고 이에 따라 생산시스템은 組織化된 勞動力에 의한 힘의 행사에 취약점을 노출시키게 되고 따라서 企業은 계속적인 生産合理化를 추구하게 되고 이에 따라 보다 더한 노동생산성 향상을 위한 自動化의 길을 택하게 되는 악순환의 경로를 밟게 된다.

Ferdow는 이같은 주장을 경험적으로 뒷받침하기 위하여 SPI(Strategic Planning Institute)의 PIMS 데이터베이스를 이용, D에 위치한 企業의 ROI가 낮고 특히 賣出額에 대한 固定資産의 比가 커질수록 ROI는 급격히 하락한다는 사실을 지적하였다(그림 3-2 참조).

이같은 生産시스템의 變化 方向에서 技術이 지나는 관리적, 전략적 의미는 생산합리화를 통해 산업에 있어서의 原價先導(cost leadership)를 얻기 위한 시장방어적 전략의 기본요소가 된다.

2) FMS에서의 技術의 意味

FMS에 의한 technology-push 戰略을 채택한 경우에는 生産시스템의 進行方向이 A에서 D로가 아니고 A에서 C로 직접 내려오는 方法이 가능해진다(그림 3-3 참조). 즉 첨단인 생산방법과 現代의 管理, 統制技法(특히 on-line, real-time 統制技法)을 活用함으로써 job shop의 柔軟性(flexibility)과 大量生産시스템의 能率(eficiency)의 統合이 가능해지며 이에 따라 생산량의 신속한 변화, 製品多樣化, 信賴性向上, 品質向上을 달성하여 경쟁적 가격에 의한 고객 서비스를 시도할 수 있게 되는 것이다. 이는 종래 유럽의 job shop 시스템에서 유연성과 능률이 상반되는 관계로 파악되던 것에서 日本의 生産시스템이 보여주는 바와 같이 어느 정도 近接된 관계로 바뀌어질 수 있음을 나타내는 것이라 하겠다(그림 3-5참조).

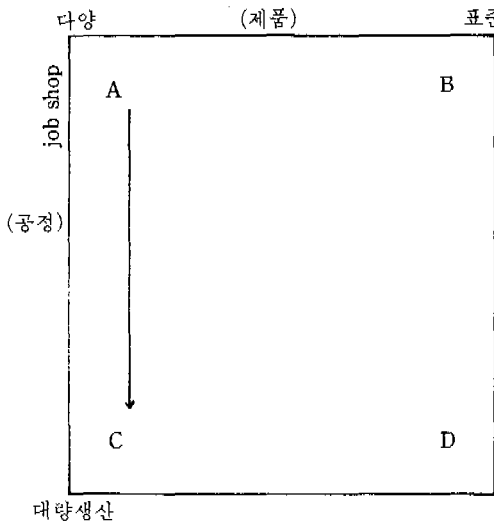


그림 3-3 제품-공정 matrix

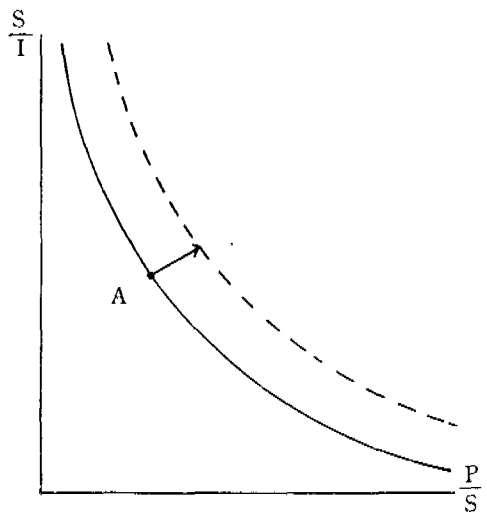


그림 3-4 ROI 무차별곡선

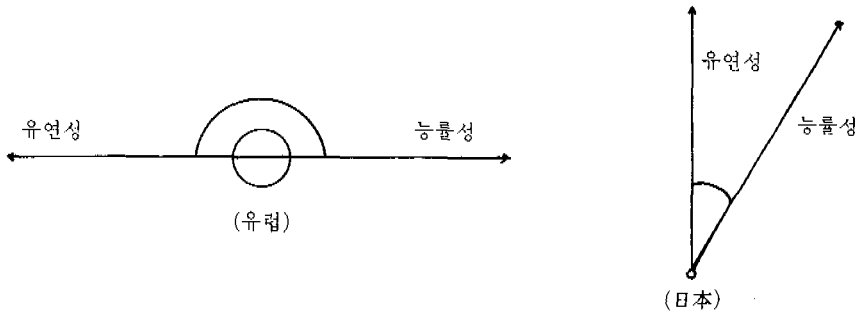


그림 3-5 유연성과 능률성의 관계

이상에서 본 바와 같이 FMS에 의한 technology-push 戰略의 요체는 FMS 관련의 첨단기술을 이용하여 생산성과 유연성의 統合을 달성하고 이를 통해 企業의 收益性(profitability)을 제고시킨다는 데 있으며 이같은 까닭에 FMS에 있어 技術이 가지는 管理的, 戰略的 意味는 FMS관련기술의 統合의이며 攻擊的 性格에 있다고 할수 있다.

결국 21C의 생산형태로 FMS를 추구하게 되는 기본적인 이유가 FMS 관련기술이 종래의 생산시스템에서 기술이 지니는 생산합리화를 통한 cost leadership의 달성이라는 시장방어적 성격에서 유연성과 생산성의 統合이라는 보다 적극적이며 공격적인 수익성의 추구가능성을 모색할 수 있게 한다는 점에 있는 관계로 FMS의 導入과 運用에 관한 經濟性 評價나 各種 運用技法의 開發 등 제반 관리적, 전략적 초점이 근본적으로는 FMS에 관련되 제반 기술에 대한 評價와 豫測을 그 前提로 하고 있다고 볼 수 있다. 그러나 실제 FMS의 출현 자체가 근래의 일에 속하고 또한 技術의 발전의 條件附確率의(conditional probability) 성격을 띠고 있다는 점, 아울러 각 분야의 기술발전속도가 불균형을 이루고 있다는 점 등을 비추어 볼 때 그 구체적인 관리에는 많은 위험과 불확실성이 따른다고 볼 수 있을 것이다.

(2) 經濟的 妥當性의 評價要素

FMS의 經濟的 妥當性에 관한 검토는 크게 나누어 두 가지 수준에서 이루어질 수 있는 바 첫째는 새로운 FMS의 설치(set up)에 관한 評價 및 選擇의 문제로 주로 FMS 導入프로젝트의 評價問題이고, 둘째는 이미 설치된 FMS의 經濟的인 運用與否와 관계를 맺고 있다고 볼 수 있다.

FMS의 導入時 고려해야 할 요소와 기준은 FMS의 導入이 지니는 戰略的意味에 비추어 볼 때 質的, 量的 側面에서 다양한 要因들이 제시될 수 있을 것이다. 궁극적으로는 FMS導入의 効果와 費用(cost/benefit)의 문제로 수렴되어야 할 것이다. 즉 FMS의 導入에 의한 經濟的, 生産的, 組織的 側面에서의 肯定的인 効果과 이의 구입에 따르는 시스템費用의 문제가 일차적으로 고려되면 이같은 고려에 입각해서 각종 比較의 기준 및 이를 구체적으로 나타내 줄 수 있는 母數(parameter)를 선정하고 이들간의 priority structure를 形成, 評價과정을 통하여 설치될 FMS의 類型과 供給者를 決定하게 되는 바 効果의 尺度로서는

- ① 生産라인의 효율성(line efficiency)기준(예 ; 기계의 사용율, FMS에 導入되는 直, 間接 노동의 量, 연속적 作業(job)사이의 준비시간(set up time) 등
- ② 成果基準(예 ; 생산 리더타임, 조달기간, 재공품, 대규모 부품믹스의 동시처리 능력, 설

계변경에 대한 적응능력, 操作의 容易性, 일정계획 및 統制方法)

③ 生産量基準(예 ; 설비의 생산능력, 확장가능성)

③ 시스템統制基準(예 ; 처리의 정확성, 생산의 정밀도, 복잡한 형태의 설계부품에 대한 수용능력)

등이 있을 수 있고 費用 部分에 대한 비교의 기준으로는 설치, 서어비스, 공급자, 운용상의 통합성 그리고 이에 따른 母數로서는 구입비용, 계약조항, 운용비용, 제조업자, local 공급자, 취약점(vulnerability), 유지보수 등이 이용될 수 있을 것이다. 다만 FMS의 설치로부터 기대되는 각종 기회(opportunity)를 평가하는데 있어서는 FMS프로젝트가 취할 수 있는 技術上의 옵션, 제품의 특성, 계획입안자가 당면하고 있는 산업조직에 있어서 수많은 차원이 존재하는 관계로 어떤 代案을 다룸에 있어서 하위수준의 옵션(예로서 소프트웨어의 고급화, 워크스테이션(work station)에 새로운 센서장치를 부착하는 문제 등)보다는 전체적인 시스템 구성을 다루는 것이 보다 바람직하고, 하위수준의 옵션에 관해서는 費用, 生産能力 등과 관련, 전체시스템에 대한 增分效果分析(incremental effect analysis)을 행해보는 것도 하나의 方法이 될 수 있을 것이다.¹⁷⁾

(3) FMS의 評價, 選擇 模型

새로운 生産技術의 導入을 위한 資本支出의 문제는 需要가 정체적인 상황아래서는 주로 設備代替理論(replacement theory)을, 그리고 수요가 변화하는 상황아래서는 주로 生産能力計劃理論(capacity planning theory)를 適用해 온 것이 傳統적인 것이라 볼 때 FMS의 導入을 위한 經濟的 妥當化에 이들의 전형적인 形態를 그대로 적용하는 것은 FMS가 가지는 기술적 특성이나 도입동기에 비추어 그리 적절한 것이라고 보기는 어렵다. 따라서 여기서는 이제까지의 컴퓨터를 이용한 自動化設備 導入의 經濟性 評價에 관한 논의들을 개관한 뒤 FMS프로젝트의 평가와 선택을 위한 Craig A. Nelson의 點數模型(scoring model)을 소개하기로 한다.

1) 既存의 研究

우선 컴퓨터를 이용한 자동화설비 도입의 경제성 평가에 관한 기존의 연구들은 대개 4가지 方向에서 展開되어온 바 이를 정리하면 다음과 같다.¹⁸⁾

① 傳統적인 財務的 評價方法의 不適切性 확인

Gold, B.의 견해 : 대부분의 資本豫算(capital budgeting)기법에 의한 평가기준들은 점진적인 개선의 연속적 흐름을 취급하기 위해 발전된 것들이나 CAM의 경우는 그 技術的 性格上 점진적 개선의 성격이 아니며 전통적 자본예산기법은 CAM의 이같은 덜 可視的(tangible)인 효과와 이익을 충분히 설명해 주지 못한다. CAM이 미치는 企業全體的, 長期的 效果에 비추어 "top-down"式 계획접근법이 필요하다.

② 現代原價會計理論에 대한 批判

Kaplan, R.S.의 견해 : 현대원가회계는 알려진 제품특성과 安定된 技術에 의한 성숙제품의

17) Ami Arbel and Abraham Seidmann, "Selecting An FMS: A Decision Framework", K.E. Stecke & R. Suri(ed.), 1st Proceedings on FMS, Aug. 1984, pp. 22~29.

18) G.J. Michael & R.A.Millen, "Economic Justification of Modern Computer-Based Factory Automation Equipment: A status Report", K.E. Stecke & R.Suri(ed.), 1st Proceedings on FMS, Aug. 1984, pp. 30~35

대량생산에 기초하여 생산성과의 尺度도 직접비용의 최소화 목적아래 형성되고 있으나 이는 대규모의 고정비, 낮은 변동비, 최소의 직접노동, 한정량(batch)생산에 의한 고도의 自動化, 柔軟 生産에는 적합하지 못하다. 따라서 새로운 準計量的(semi quantitative)인 성과척도가 개발되어야 한다.

③ 戰畧的 妥當化

Wheelwright, S.C. 등의 견해 : 컴퓨터를 이용한 제조기술의 도입에는 장기적, 전략적 관점이 중요하다. 비록 의사결정을 위한 분석적인 접근방법에 이같은 전략적 고려를 포함시키는 것이 어렵더라도 기업의 장기적인 경쟁력, 수익성 그리고 生存의 유지를 위해서는 새로운 생산기술의 평가에 오늘날의 분석기법을 벗어난 추가적인 기준이 요구된다.

④ 數學的 시스템模型

Hutchinson과 Holland 등의 견해 : 복수제품, 시장의 불확실성 등을 시뮬레이션을 이용하여 분석하는 것으로 최적기계부하결정, 경제적주문량, 스케줄링 등에 시뮬레이션을 이용하는 것은 예전에도 있어 왔으나 재무적 타당성 검토를 위해 이를 이용하는 것은 비교적 새로운 일에 속한다고 볼 수 있다.

1) 상에서 본 바와 같이 FMS의 주요 기반이 현대의 첨단적 제조기술과 컴퓨터에 의한 統制 제어로서 그 사용이 근래의 일이고 또한 미래의 새로운 생산방식으로서 그 보급의 확대가 상되고 있는 만큼 FMS관리의 주된 초점 중의 하나가 FMS프로젝트의 평가와 선택에 모아지고 있음은 당연한 일이나 FMS가 지니는 多次元性(multidimensionality)으로 인하여 기존의 DCF나 NPV등 만에 의존해서는 그 합리성을 보장받기가 어려운 것도 사실이다. 이 같은 이유로 아직까지도 최선의 평가, 선택기법이라 할 만한 것은 개발되어있지 않는 상태이다. 以下에서는 FMS의 질적, 양적 특징을 결합적으로 고려하는 하나의 평가, 선택기법으로서 Craig A. Nelson의 점수모형(scoring model)을 소개하기로 한다.

2) 點數模型¹⁹⁾

다음 모형과 같이 5개 항목의 점수를 구하고 이를 합계하여 특정 프로젝트의 점수를 계산하는 방법이다.

$$S_i = t_i^* + e_i^* + c_i^* + b_i^* + v_i^*$$

(단, S_i 는 프로젝트의 점수 $0 \leq S_i \leq 5$)

① t_i^* : 기술평가점수

프로젝트의 확인(계획된 제품의 기능과 이에 필요한 기술의 확인), 프로젝트의 평가(확인된 기술의 이용가능성 및 적정성, 현 산업에서의 이용상태, 프로젝트에 미치는 영향)를 거쳐 각 프로젝트별 t_i 를 구하고 그 중 최대치인 t_m 으로 나누어 상대점수를 계산한 것이 t_i^* 이다. 복수 프로젝트로 구성된 경우는 각 프로젝트별 점수의 산술평균으로 한다.

② e_i^* : 설비평가점수

現在の 設備를 보다 현대화시켜야 할 필요성의 정도를 각 shop별로 평가하되 교체비용에 대한 수선비용의 비율, 설비의 연령, 현재의 기능수행과 예정된 기능수행의 적절성을 감안, 평점을 구한 뒤 각 shop별 점수인 e_i 를 그중 최대치인 e_m 으로 나누어 상대점수를 계산한 것

19) C.A.Nelson, "A Scoring Model for Flexible Manufacturing Systems Project Selection", K.E. Steck & R. Suri(ed.), 1st Proceedings on FMS, Aug. 1984, pp. 43~48.

이 e_i^* 이다. 복수 shop프로젝트일 때는 각 shop별 점수의 산술평균치를 이용한다.

③ c_i^* : 生産能力的 作業負荷彈性性評價點數

계획기간 이후의 작업부하량의 변화율에 대한 생산능력의 변화비율을 이용, 추가로 필요한 설비의 정도를 계산하되 각 shop별로 1.0과의 차이의 절대치로 제일 작은 차이값으로 나누어 상대점수를 구한 것이 c_i^* 이다. 복수 shop프로젝트인 경우는 shop별 점수의 산술평균을 이용한다.

④ b_i^* : 費用/豫算 比率

프로젝트에 대한 총 추정투자액이 예정된 예산범위 내에 있게 되는 정도를 프로젝트별로 계산하되 각 프로젝트별 비용/예산의 비율을 구하고 이 중 최소비율값을 나누어 상대점수를 구한 것이 b_i^* 이다. 복수 projet 구성시는 각 프로젝트별 점수의 산술평균을 이용한다.

⑤ v_i^* : 純現價點數

각 프로젝트별로 기술의 성공확률, 현금흐름의 기대치, 위험을 고려한 자본비용을 이용, 조정된 NPV를 계산하되 복수 프로젝트 구성 시는 프로젝트 간의 종속성 여부에 따라 조건부 확률을 이용, 프로젝트의 성공확률을 계산한다. 각 프로젝트별 NPV를 구하고 이들 중 최대치로 나누어 상대점수를 계산한 것이 v_i^* 이다.

(4) 模型開發의 問題點

앞에서 보아온 바와 같이 현재의 여건에서는 FMS導入프로젝트의 경제성 평가를 위한 방법의 선택은 상당한 한계가 있는 것이 사실이다. 기본적으로 FMS가 지니는 기술적 특성으로 인하여 전통적인 자본예산기법을 활용하는 방법에는 한계가 있다고 인정되며, 특히 FMS 도입시에는 전략적 측면에서의 非數量的인 요인의 고려가 큰 의미를 지니는 관계로 이를 총괄할 수 있는 綜合的 評價模型이 필요해지는 바 이같은 요구를 충족시키는 모형의 개발은 아직은 불충분한 상태로 볼 수 있다. 위에서 제시한 Nelson 모형의 경우에서도 각 점수 산정 과정의 正規性(normality), 直交性(orthogonality), 同一加重值(equal weighting)의 가정 등은 상당부분 조정될 성질의 것이다. 또한 FMS의 기본추구방향이 유연성에 있는 것이라면 이의 과학적인 측정방법이 평가모형 개발의 전제가 되는 것인 바 이에 대한 계속적인 연구가 뒤따라야 하리라 생각된다.

4. FMS의 柔軟性 成果測定模型

FMS는 서로 연관된 많은 하드웨어와 소프트웨어의 구성요소로 형성된 복잡한 시스템이며 計劃, 設計, 設置, 運用과 지속적인 修正 및 改善에 대한 의사결정이 이루어져야 한다. 이러한 과정에서 이루어져야 할 중요한 성과적도로서 다음과 같은 것들이 제시되고 있다.²⁰⁾

- 設備利用率
- 生産率(production rate)
- 在工品

20) Rajan Suri, "An Overview of Evaluative Models for Flexible Manufacturing Systems", K.E. Stecke & R. Suri(ed.), 1st Proceedings on FMS, Aug. 1984, pp. 8~15.

- flow times
- 名 資源의 대기행렬
- 回收期間 (payback period)
- 收益率 (ROI)
- 柔軟性 (flexibility)

이중 FMS의 가장 중요한 요소인 유연성의 문제는 FMS평가에서 가장 기본적이고 중요한 문제라고 생각되므로 여기서는 이의 측정문제를 다룬 몇몇 연구들을 살펴보기로 한다.

(1) Primrose의 模型²¹⁾

Primrose는 다음과 같은 두 가지의 극단적인 類型의 FMS를 정의하고 있다.

- 代替的 FMS(interchangeable type of FMS) : 머시닝센터와 같은 동일한 종류의 범용 기계들로만 구성되는 FMS. 부품의 가공은 FMS내의 어떠한 기계에서도 가능하다. (그림 4-1 참조)
- 補完的 FMS(complementary type of FMS) : FMS를 구성하는 각 기계에서는 1가지 유형의 가공만이 가능하고 따라서 부품의 가공은 부품의 기술적 공정 순서에 종속된다. (그림 4-2 참조)

각 유형의 FMS는 FMS를 구성하는 각 기계들이 마디(node)가 되고 가능한 부품의 기계 간 이동이 가지(arc)가 되는 네트워크(network)로 파악되며, 대체적 FMS는 모든 마디가 연결된 네트워크로 이상적인 유연성(ideally flexible)을 가진다.

극단적인 대체적 FMS와 극단적인 보완적 FMS의 중간에 위치하는 어떤 FMS는 동일한 기능을 수행하는 기계의 수, 필요한 공정, 부품의 기술적 가공순서 때문에 연결되지 못하는 마디들을 가지게 된다.

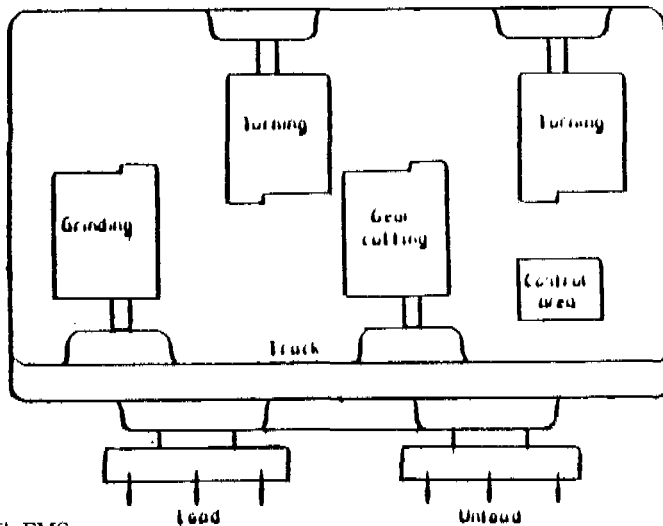


그림 4-1 대체적 FMS

21) P.L. Primrose, "Conditions under which Flexible Manufacturing is Financially Viable", Proceedings of the 3rd Internateiral Conference on FMS, FMS.KFS(Publications) Ltd., 1984.

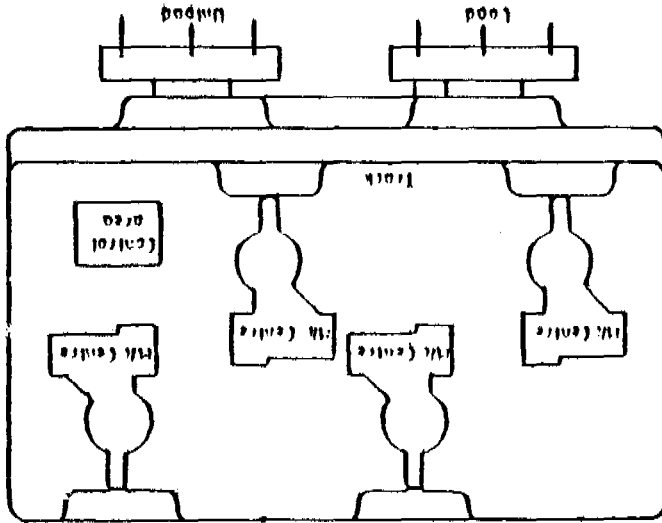


그림 4-2 보완적 FMS

특정 FMS의 유연성은 이 FMS의 가지수와 동일한 수의 마디(즉 기계)를 가지는 이상적인 FMS의 가지수의 반로서 측정된다.

(2) Chatterjee 등의 模型²²⁾

Chatterjee 등은 생산시스템의 설계와 그 유연성의 측정을 위한 일반적인 모형을 제시했다. 그들은 수학의 집합개념을 이용하여 FMS의 유연성을 측정하고 있다.

FMS는 투입 buffer로부터 자재를 받아들여 일련의 가공을 행한 후 처리된 자재를 산출 buffer로 내보내는 처리모듈(process module:PM)들로 구성되는데 몇 개의 PM이 모여 전용의 PM간 搬送시스템을 가지는 module center(MC)가 되고 이들 MC를 자재취급설비가 연결하여 부품이동을 가능하게 한다.

부품에 따라 필요로 하는 처리요구(processing requirement)가 결정되며 한 개의 PM이 한 개의 처리요구를 만족하게끔 PM의 집합이 결정된다. 이러한 PM의 집합에 따라 MC의 집합이 결정되며 따라서 할당행렬(assignment matrix)가 가능하게 되고 할당행렬간의 관련된 자재반송도 구체화된다.

이때 FMS의 유연성은 각 집합에서의 원소의 갯수 및 네트워크상의 경로(path)수에 따라 여러가지로 측정된다. 어떤 부품과 관련하여 포괄적인 MC(comprehensive module center)란 그 MC내에서 부품가공의 routing이 완성되는 MC를 말하며 1MC내에 그러한 routing이 하나 존재하면 그 MC내의 모든 routing이 가능함을 증명하였으며 또한 주어진 부품의 routing이 가능한 PM들로 구성되는 MC간 경로의 수를 발견하는 알고리즘을 제시하였다.

그들은 여기서 어떤 부품의 포괄적인 MC수와 총 MC 수의 비를 유연성의 척도로 제안했다.

22) A.Chatterjee, M.A. Cohen, W.L.Maxwell, L.W.Miller, "Manufacturing Flexibility: Models and Measurements", in K.E. Stecke and R.Suri(ed.), 1st Proceeding on FMS, Aug. 1984, pp. 49~64.

(3) Kumar의 模型²³⁾

Kumar는 유연성을 엔트로피개념을 이용하여 측정하고자 한다.

개인이나 시스템의 행동의 유연성은 가능한 意思決定代案(alternatives)의 수에 따라 결정된다. 가능한 의사결정대안수가 많을수록 유연성은 증가하는 것이다. 또한 유연성은 각 의사결정대안이 채택될 수 있는 자유도 즉 각 의사결정대안이 결정되는 확률에 따라라도 달라진다. 예컨대 두가지 가능한 대안이 있어 각각 채택될 확률이 0.5인 경우와 1개의 대안이 채택될 확률은 0.95이고 다른 1개의 대안이 채택될 확률은 0.05인 경우 전자의 경우가 유연성이 더 크다고 할 수 있을 것이다.

일반적으로 채택될 확률이 각각 P_1, P_2, \dots, P_n 인 의사결정대안이 n 개 있다면 이 때의 유연성은 다음과 같이 P_1, P_2, \dots, P_n 의 함수로 나타낼 수 있다.

$$S(P_1, P_2, \dots, P_n) = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i$$

Kumar는 이러한 유연성의 함수를 이용하여 FMS의 loading 유연성을 측정하고 있다.

5. 結 語

우리는 지금까지 FMS의 概念을 비롯하여 FMS의 導入·運用과 관련된 제 문제점, 특히 FMS의 導入妥當性分析과 그 柔軟性成果 測定模型에 대한 연구결과들을 살펴보았다.

FMS에 대한 구체적인 발전형태나 도입의 타당성 및 예상되는 문제점 등에 대한 확실한 평가가 아직은 내려지지 않고 있는 상태이나 오늘날 기업이 처한 제반 환경변화와 앞으로의 추세 등을 감안해 볼 때 리드타임을 단축시킴으로써 공정의 신속성을 기할 수 있고 제품 및 부품의 품종증가나 변화 또는 그 수요량의 변동에 신속히 대처할 수 있는 FMS의 유연성은 기업의 효율적 경영에 플러스적 요인이 될 수 있다는 사실은 부인할 수 없다. 아직은 국내 기업이 여기에 대한 관심이 부족하여 그 도입, 활용 사례가 극히 미약하다고는 하나 앞으로 국내 기업이 국제시장에서 경쟁력을 제고시키기 위해서는 이러한 첨단기술의 도입이 시급히 요청된다고 아니할 수 없다. 즉 현재의 우리나라 기업의 국제경쟁력의 바탕이 대량생산에 의한 생산성에 있다고 할 것 같으면 앞으로의 추세는 선진국의 까다롭고 다양한 주문에 대해 신속히 그리고 신뢰성있게 대응할 수 있는 능력에 경쟁력의 바탕이 두어질 것이기 때문이다. 올림픽 이후 우리나라 기업의 활로는 유럽을 비롯한 선진국 시장을 겨냥해야 할 것이기 때문이다.

이러한 이유에서 本稿는 국내기업의 FMS 도입, 활용과 관련하여 이의 전반적인 이해를 돕기 위하여 집필된 것이며 FMS가 단순히 하드웨어시스템의 측면만이 아니라 제반 管理的, 人的 측면을 포함하는 소프트웨어시스템까지를 종합적으로 다루어야 하는 생산체계라는 점에서 이에 대한 국내기업들의 각기 실정에 맞는 가능한 영역으로부터 보다 적극적인 연구, 검토가 요청된다고 하겠다.

23) V.Kumar, "On Measurement of Flexibility in Flexible Manufacturing Systems: An Information-Theoretic Approach", in K.E. Stecke & R.Suri(ed.) 2nd Proceedings on FMS, Aug. 1986, pp. 131-143

參考文獻

1. 郭秀一, 生産管理論, 英志文化社, 1986.
2. 梁宗澤, 生産/運營管理論, 法文化, 1987.
3. 李載寬, 生産管理, 石井, 1986.
4. 姜鍾烈, 製造企業의 製品多樣化(variety) 및 生産融通性(flexibility)을 위한 生産戰畧, 울산대학교 연구 논문집 제18권(인문·사회과학편) 제1호, 1987, pp. 89~104.
5. 李根植, 鄭相喆, 柔軟型生産시스템(FMS)의 戰畧的 評價模型에 관한 小考, 忠南大學校 經商大學 經營論集 第II卷 第II號, 1986, pp. 1~18.
6. 趙誠基, FMS(Flexible Manufacturing System)에 의한 生産시스템 設計에 관한 考察, 서울大學校 大學院 碩士學位論文, 1986.
7. Arbel, Ami and Seidmann, Abraham, "Selecting an FMS: A Decision Framework", in K.E Stecke & R.Suri(ed.), Proceedings of the 1st ORSA/TIMS Special Interest Conference on FMS Aug. 1984, pp. 22~29.
8. Bylinsky, Gene, "The Race to the Automatic Factory", *Fortune*, Feb. 21, 1983, pp. 53~54.
9. Chatterjee, A., Cohen, M.A., Maxwell, W.J., Miller, L.W., "Manufacturing Flexibility: Models & Measurements", in K.E.Stecke & R.Suri(ed), Proceedings of the 1st ORSA/TIMS Special Interest Conference on FMS, Aug. 1984, pp. 49~64.
10. Gerwin, Donald, "Do's and Dont's of Computerized Manufacturing", *Harvard Business Review*, March-April, 1982.
11. Goldhar, Joel D., Jelinck, Mariann, "Plan for Economics of Scope", *Harvard Business Review*, Nov.-Dec. 1983.
12. Gunn, Thomas G., Computer Application in Manufacturing, Industrial Press Inc, 1981.
13. Hender, John, "FMS-The Way Ahead for Batch Production," *Industrial Management & Data System*, May/June, 1984.
14. Herroelen, Willy S., Lambrecht, Marc R., "Management Aspect of Computerized Manufacturing" in K.E. Stecke & R.Suri(ed), Proceedings of the 1st ORSA/TIMS Special Interest Conference on FMS, Aug, 1984, pp. 68~73.
15. Klahorst, H.T, "FMS's: Combining Elements to Lower Costs, Add Flexibility, "*Industrial Engineering*, 13(11), 1981.
16. Koren, Yoram, Computer Control of Manufacturing Systems, McGraw-Hill, 1983.
17. Kumar, Vinod, "On Measurement of Flexibility in Flexibe Manufacturing Systems: An Information-Theoretic Approach" in K.E. Stecke & R.Suri(ed), Proceedings of the 2nd ORSA/TIMS Special Interest Conference on FMS, Aug. 1987, pp. 131~143.
18. Greenwood, Niegel R., "FMS, The Origins, The Philosophy, The Implications", in K.E. Steck & R.Suri(ed), Proceedings of the 1st ORSA/TIMS Special Interest Conference on FMS, Aug. 1984 pp. 403~407.
19. Lofgren, "Automatic Guided Vehicles Perform as Production Line System", *Industrial Engineering*, 13(11), 1981, pp. 36~43.
20. Michael, Gerald J., Millen, Robert A., "Economic Justification of Modern Computer-Based Factory Automation Equipment, A Status Report, "in K.E. Stecke & R.Suri(ed), The Proceedings of the 1st ORSA/TIMS Special Interest Conference on FMS, Aug., 1984, pp. 30~35.
21. Nelson, Craig A., "Scoring Model for Flexible Manufacturing Systems Project Selection", in K E. Stecke & R.Suri(ed), Proceedings of the 1st ORSA/TIMS Special Interest Conference on FMS, Aug., 1984, pp. 43~48.

22. Primrose, P.L., "Conditions under which Flexible Manufacturing is Financially Viable Proceedings of the 3rd International Conference on FMS, FMS · KFS(Publications) Ltd., 1984.
23. Suri, Rajan, "An Overview of Evaluation Models for Flexible Manufacturing Systems," in K.E Stecke & R.Suri(ed.), Proceedings of the 1st ORSA/TIMS Special Interest Conference on FMS Aug., 1984, pp. 8~15.